

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 3月24日

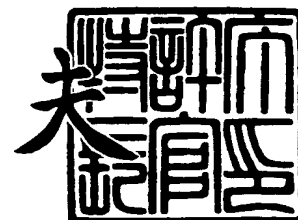
出願番号
Application Number: 特願2003-079368
[ST. 10/C]: [JP 2003-079368]

出願人
Applicant(s): 株式会社デンソー

2004年 3月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 P02114

【提出日】 平成15年 3月24日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F02D 41/14

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

 【氏名】 川合 勝彦

【特許出願人】

 【識別番号】 000004260

 【氏名又は名称】 株式会社デンソー

【代理人】

 【識別番号】 100098420

 【住所又は居所】 名古屋市中区金山一丁目 9 番 1 9 号 ミズノビル 4 階

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 加古 宗男

 【電話番号】 052-322-9771

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 036571

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9406789

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 車両用制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 車両に搭載された制御対象の制御量を目標値に追従させるようにフィードフォワード制御を行う車両用制御装置において、

目標値と実際の制御量との誤差に目標値の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定するゲイン演算手段と、

目標値の微分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めるフィードフォワード補正值演算手段と

を備えていることを特徴とする車両用制御装置。

【請求項2】 前記ゲイン演算手段は、目標値と実際の制御量との誤差を求める際に、無駄時間分だけ過去に溯った時点の目標値を用いることを特徴とする請求項1に記載の車両用制御装置。

【請求項3】 前記制御対象は、空燃比制御システムであり、
前記ゲイン演算手段は、目標燃料過剰率と実燃料過剰率との誤差に目標燃料量の微分値を乗算した値に基づいて適応的にゲインを決定し、

前記フィードフォワード補正值演算手段は、目標燃料量の微分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めることを特徴とする請求項1又は2に記載の車両用制御装置。

【請求項4】 車両に搭載された制御対象の制御量を目標値に追従させるようにフィードフォワード制御を行う車両用制御装置において、

目標値と実際の制御量との誤差と該誤差の積分値との和に目標値の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定するゲイン演算手段と、

目標値と目標値の一次遅れの値との差分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めるフィードフォワード補正值演算手段と

を備えていることを特徴とする車両用制御装置。

【請求項5】 前記フィードフォワード補正值演算手段は、目標値の一次遅れの値を演算する際に、その一次遅れ時定数を、目標値と実際の制御量との誤差と該誤差の積分値との和に目標値を乗算して得られた値に基づいて適応的に決定

することを特徴とする請求項 4 に記載の車両用制御装置。

【請求項 6】 前記ゲイン演算手段は、目標値と実際の制御量との誤差を求める際に、無駄時間分だけ過去に溯った時点の目標値を用いることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の車両用制御装置。

【請求項 7】 前記フィードフォワード補正值演算手段は、目標値と実際の制御量との定常偏差の影響を取り除く手段を有することを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載の車両用制御装置。

【請求項 8】 前記定常偏差の影響を取り除く手段は、前記一次遅れ時定数を演算する過程で、前回のフィードフォワード補正值を乗算することで定常偏差の影響を取り除くことを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれかに記載の車両用制御装置。

【請求項 9】 前記制御対象は、空燃比制御システムであり、
前記ゲイン演算手段は、目標燃料過剰率と実燃料過剰率との誤差との誤差と該誤差の積分値との和に目標燃料量の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定し、

前記フィードフォワード補正值演算手段は、目標燃料量と目標燃料量の一次遅れの値との差分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めることを特徴とする請求項 4 乃至 8 のいずれかに記載の車両用制御装置。

【請求項 10】 車両に搭載された制御対象の制御量を目標値に追従させるようにフィードフォワード制御を行う車両用制御装置において、

目標値と実際の制御量との誤差に目標値の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定するゲイン演算手段と、

目標値の一次遅れ時定数を、目標値と実際の制御量との誤差に前回のフィードフォワード補正值を乗算した値に基づいて適応的に決定する一次遅れ時定数演算手段と、

目標値と前記一次遅れ時定数を用いて演算した目標値の一次遅れの値との差分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めるフィードフォワード補正值演算手段と

を備えていることを特徴とする車両用制御装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、フィードフォワード制御の機能を備えた車両用制御装置に関するものである。

【0002】**【従来の技術】**

車両用制御装置に関しては、例えば、特許文献1（特許第3316955号公報）に示すように、制御対象をモデル化して、そのモデル定数をリアルタイムで算出すると共に、このモデル定数に基づいてフィードバックゲインを算出して、制御対象の制御量を目標値に追従させるようにフィードバック制御を行うようにしたものがある。

【0003】**【特許文献1】**

特許第3316955号公報（第1頁～第3頁等）

【0004】**【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、フィードバック制御は、目標値と実際の制御量との誤差が発生してから、その誤差を小さくするように働くため、応答性が比較的遅いという欠点がある。

【0005】

そこで、応答性の早いフィードフォワード制御をフィードバック制御と組み合わせさせて実行するようにした制御システムが開発されている。

しかし、従来のフィードフォワード制御は、予め決められたゲインを用いてフィードフォワード補正値を算出するようにしているため、制御対象の製造ばらつき、経時変化、環境条件・動作条件の変化等によって生じる制御対象の特性変動の影響がフィードフォワード補正値に反映されず、フィードフォワード制御の制御精度が制御対象の特性変動によって悪化するという欠点があった。

【0006】

本発明はこのような事情を考慮してなされたものであり、従ってその目的は、制御対象の特性変動による影響を反映させたフィードフォワード制御を行うことができ、高応答かつ高精度のフィードフォワード制御を実行することができる車両用制御装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の請求項1の車両用制御装置は、車両に搭載された制御対象の制御量を目標値に追従させるようにフィードフォワード制御を行うものにおいて、ゲイン演算手段によって、目標値と実際の制御量との誤差に目標値の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定すると共に、フィードフォワード補正值演算手段によって、目標値の微分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めるようにしたものである。このようにすれば、制御対象の特性変動に応じてゲインを自動調整することができ、制御対象の特性変動による影響を反映させたフィードフォワード制御を行うことができ、フィードフォワード制御の制御精度を向上させることができる。しかも、後述するように、目標値から制御対象の入力（操作量）を演算する制御式が制御対象の伝達関数の逆モデルとなるため、制御対象の出力（制御量）を目標値に一致させることができ、高応答のフィードフォワード制御を実現することができる。

【0008】

この場合、請求項2のように、目標値と実際の制御量との誤差を求める際に、無駄時間分だけ過去に溯った時点の目標値を用いるようにすると良い。このようにすれば、制御対象が無駄時間を持つ場合でも、無駄時間の影響を排除したフィードフォワード制御を実行することができ、フィードフォワード制御の制御精度を良好に維持できる。

【0009】

以上説明した請求項1, 2に係る発明（以下「第1の発明」という）は、車両の様々な制御システムに適用可能であるが、空燃比制御システムに適用する場合は、目標値が目標燃料量で、制御対象の出力（制御量）が排気管に設置した空燃

比センサ（又は酸素センサ）で検出した空燃比（ A/F 、空気過剰率 λ 、燃料過剰率 ϕ ）になることを考慮して、請求項3のように、目標燃料過剰率と実燃料過剰率との誤差に目標燃料量の微分値を乗算した値に基づいて適応的にゲインを決定し、目標燃料量の微分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めるようにしても良い。このようにすれば、第1の発明を空燃比制御システムにも適用でき、燃料性状の変化等に応じてフィードフォワード補正值を自動調整することができる。しかも、目標値が目標燃料量で、制御対象の出力が空燃比であることを考慮して、空燃比の情報として、空気過剰率 λ ではなく、その逆数（ $1/\lambda$ ）である燃料過剰率 ϕ を用いるようにしたので、目標値（目標燃料量、目標燃料過剰率）と制御対象の出力（実燃料過剰率）との増減方向が一致して、制御対象の挙動が分かりやすくなる利点がある。

【0010】

上記第1の発明の他に、請求項4に係る発明（以下「第2の発明」という）のように、目標値と実際の制御量との誤差と該誤差の積分値との和に目標値の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定すると共に、目標値と目標値の一次遅れの値との差分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めるようにしても良い。このようにすれば、上記請求項1に係る発明（第1の発明）よりも更に高精度なフィードフォワード制御を行うことができる。

【0011】

この場合、請求項5のように、目標値の一次遅れの値を演算する際に、その一次遅れ時定数を、目標値と実際の制御量との誤差と該誤差の積分値との和に目標値を乗算して得られた値に基づいて適応的に決定するようにすると良い。このようにすれば、一次遅れ時定数を制御対象の特性変動に応じて精度良く変化させることができる。

【0012】

以上説明した第2の発明においても、請求項6のように、目標値と実際の制御量との誤差を求める際に、無駄時間分だけ過去に溯った時点の目標値を用いるようにすると良い。このようにすれば、制御対象が無駄時間を持つ場合でも、無駄

時間の影響を排除したフィードフォワード制御を実行することができ、フィードフォワード制御の制御精度を良好に維持できる。

【0013】

ところで、前記第1の発明では、フィードフォワード補正値を演算する際に用いる目標値の微分値は、目標値が変化しない定常状態のときに0となるため、目標値の微分値を乗算することで、目標値と実際の制御量との定常偏差の影響を排除できるが、第2の発明では、フィードフォワード補正値を演算する際に、目標値の微分値を用いないため、定常偏差の影響を排除できない。従って、第2の発明では、請求項7のように、目標値と実際の制御量との定常偏差の影響を取り除く手段を設けることが好ましい。

【0014】

この場合、定常偏差の影響を取り除く手段としては、例えば、制御対象の状態が定常状態であるか否かを目標値変化後の経過時間等によって判定して、制御対象の状態が定常状態と判定される期間中に定常偏差の影響を取り除くようにしても良いが、請求項8のように、前記一次遅れ時定数を演算する過程で、前回のフィードフォワード補正値を乗算することで定常偏差の影響を取り除くようにしても良い。制御対象の状態が定常状態のときには、フィードフォワード補正値がほぼ0となるため、前回のフィードフォワード補正値を乗算することで定常偏差の影響を自動的に取り除くことができる。

【0015】

以上説明した第2の発明も、車両の様々な制御システムに適用可能であるが、空燃比制御システムに適用する場合は、請求項9のように、目標燃料過剰率と実燃料過剰率との誤差との誤差と該誤差の積分値との和に目標燃料量の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定すると共に、目標燃料量と目標燃料量の一次遅れの値との差分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正値として求めるようにしても良い。このようにすれば、第2の発明を空燃比制御システムにも適用でき、燃料性状の変化等に応じてフィードフォワード補正値を自動調整することができる。

【0016】

尚、請求項 10 のように、目標値と実際の制御量との誤差に目標値の微分値を乗算して得られた値に基づいて適応的にゲインを決定するゲイン演算手段と、目標値の一次遅れ時定数を、目標値と実際の制御量との誤差に前回のフィードフォワード補正值を乗算した値に基づいて適応的に決定する一次遅れ時定数演算手段と、目標値と前記一次遅れ時定数を用いて演算した目標値の一次遅れの値との差分値に前記ゲインを乗算した値をフィードフォワード補正值として求めるフィードフォワード補正值演算手段とを備えた構成としても良い。

【0017】

【発明の実施の形態】

《実施形態（1）》

以下、本発明を電子スロットルシステムに適用した実施形態（1）を図 1 乃至図 4 に基づいて説明する。

【0018】

まず、図 1 に基づいてエンジン制御システム全体の概略構成を説明する。内燃機関であるエンジン 11 の吸気管 12 の最上流部には、エアクリーナ 13 が設けられ、このエアクリーナ 13 の下流側に、吸入空気量を検出するエアフローメータ 14 が設けられている。このエアフローメータ 14 の下流側には、DC モータ等のモータ 17 によって開度調節されるスロットルバルブ 15 とスロットル開度を検出するスロットル開度センサ 16 とが設けられている。

【0019】

また、スロットルバルブ 15 の下流側には、サージタンク 12a が設けられ、このサージタンク 12a に、吸気管圧力を検出する吸気管圧力センサ 18 が設けられている。また、サージタンク 12a には、エンジン 11 の各気筒に空気を導入する吸気マニホールド 19 が設けられ、各気筒の吸気マニホールド 19 の吸気ポート近傍に、それぞれ燃料を噴射する燃料噴射弁 20 が取り付けられている。また、エンジン 11 のシリンダヘッドには、各気筒毎に点火プラグ 21 が取り付けられ、各点火プラグ 21 の火花放電によって筒内の混合気に着火される。

【0020】

一方、エンジン 11 の排気管 22 には、排出ガス中の CO, HC, NO_x等を

浄化する三元触媒等の触媒 23 が設けられ、この触媒 23 の上流側に、排出ガスの空燃比を検出する空燃比センサ 24（又は酸素センサ）が設けられている。また、エンジン 11 のシリンダブロックには、冷却水温を検出する水温センサ 25 や、エンジン 11 のクランク軸が一定クランク角（例えば 30℃A）回転する毎にパルス信号を出力するクランク角センサ 26 が取り付けられている。このクランク角センサ 26 の出力信号に基づいてクランク角やエンジン回転速度が検出される。

【0021】

前述した各種センサの出力は、エンジン制御回路（以下「ECU」と表記する）27 に入力される。この ECU 27 は、マイクロコンピュータを主体として構成され、内蔵された ROM（記憶媒体）に記憶された各種のエンジン制御プログラムを実行することで、エンジン運転状態に応じて燃料噴射弁 20 の燃料噴射量や点火プラグ 21 の点火時期を制御する。

【0022】

更に、ECU 27 は、電子スロットルシステムをフィードフォワード制御（以下「F/F 制御」と表記する）及びフィードバック制御（以下「F/B 制御」と表記する）して、スロットル開度をアクセルセンサ（図示せず）で検出したアクセル開度（アクセル操作量）等に応じて設定した目標スロットル開度に制御する。この際、ECU 27 は、後述する図 3 の電子スロットル制御プログラムを実行することで、F/F 制御及び F/B 制御で過不足する分を適応制御によって補正する。

【0023】

以下、図 3 の電子スロットル制御プログラムで用いる制御式について説明する。本実施形態（1）では、図 2 に示すように、制御対象（電子スロットルシステム）を一次遅れ系で近似する。この場合、図 2 の点線内の制御（制御対象の伝達関数の逆モデル）が実現可能であれば、制御対象の出力 y （実スロットル開度）を目標値 y_m （目標スロットル開度）に一致させることができる。

【0024】

しかし、制御対象の時定数 K が未知であったり、変動したりするため、図 2 の

制御式のままでは実現できない。

そこで、本実施形態（１）では、制御対象の時定数 K を検出しつつ、制御する手法を採用する。

【0025】

ここで、時定数 K の推定値を K_h とすると、上記伝達関数の制御式は、次式で表される。

$$u = y_m + K_h s y_m$$

u : 制御対象の入力

s : ラプラス演算子

【0026】

これを制御対象の伝達関数に代入すると、次式のようにになる。

$$y = (K_h s + 1) / (K s + 1) \cdot y_m$$

ここで、目標値 y_m と実際の出力 y の誤差 e を $e = y_m - y$ と定義して上式を代入すると、この誤差 e は次のように表される。

【0027】

$$\begin{aligned} e &= \{1 - (K_h s + 1) / (K s + 1)\} y_m \\ &= (K - K_h) s / (K s + 1) \cdot y_m \\ &= 1 / (K s + 1) \cdot (K - K_h) s y_m \end{aligned}$$

上式において、 $1 / (K s + 1)$ は、強正実 ($K > 0$) であるので、適応制御理論により、次式が得られる。

【0028】

$$d(K - K_h) / dt = -\gamma \cdot d y_m / dt \cdot e \quad (\gamma > 0)$$

上式から次式が導き出される。

$$d K_h / dt = \gamma \cdot d y_m / dt \cdot e$$

上式を用いて、 K_h （時定数 K の推定値）を調整すれば、 $K_h \rightarrow K$ が保証される。

【0029】

従って、上式により演算した K_h を用いて、次式により制御すれば、制御量 y を目標値 y_m に一致させることができる。

$$u = y_m + K_h \cdot dy_m / dt$$

上式から、F/F補正值（フィードフォワード補正值） u_{cmp} は、次式で表される。

$$u_{cmp} = K_h \cdot dy_m / dt$$

【0030】

ECU27は、図3の電子スロットル制御プログラムを周期的に実行することで、特許請求の範囲でいうゲイン演算手段及びフィードフォワード補正值演算手段として機能し、目標スロットル開度 y_m （目標値）と実スロットル開度 y （実際の制御量）との誤差 e に目標スロットル開度の微分値 Δy_m を乗算して得られた値 z に基づいて適応的にゲイン K_h （時定数 K の推定値）を決定し、このゲイン K_h に目標スロットル開度の微分値 Δy_m を乗算した値をF/F補正值 u_{cmp} として求める。

【0031】

この場合、制御対象が無駄時間 d を持っていることを考慮して、目標スロットル開度 y_m と実スロットル開度 y との誤差 e を求める際に、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標スロットル開度 y_{md} を用い、誤差 $e = y_{md} - y$ とする。以下、図3の電子スロットル制御プログラムの具体的処理内容を説明する。

【0032】

本プログラムが起動されると、まずステップ101で、スロットル開度センサ16により実スロットル開度 y （実際の制御量）を計測し、次のステップ102で、アクセル開度等に基づいて目標スロットル開度 $y_m(i)$ を演算する。この後、ステップ103に進み、目標スロットル開度の今回値 $y_m(i)$ と前回値 $y_m(i-1)$ との差分値 Δy_m （目標値の微分値）を演算する。

$$\Delta y_m = y_m(i) - y_m(i-1)$$

【0033】

そして、次のステップ104で、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標スロットル開度 $y_m(i-d)$ を読み込んで、 $y_{md} = y_m(i-d)$ とする無駄時間処置を実施した後、ステップ105に進み、目標スロットル開度 y_{md} と実スロットル開度 y との誤差 $e (= y_{md} - y)$ を算出する。

【0034】

この後、ステップ106に進み、誤差 e に目標スロットル開度差分値 Δy_m を乗算した値 z ($= e \times \Delta y_m$) を算出した後、ステップ107に進み、次式によりゲイン K_h (時定数 K の推定値) を算出する。

$$K_h = K_h(i-1) + \gamma_k \times \Delta t \times z$$

ここで、 $K_h(i-1)$ は前回のゲイン、 γ_k は定数 (> 0)、 Δt は制御周期である。

【0035】

そして、次のステップ108で、ゲイン K_h に目標スロットル開度差分値 Δy_m を乗算してF/F補正值 u_{cmp} を求める。

$$u_{cmp} = K_h \times \Delta y_m$$

【0036】

この後、ステップ109に進み、F/B補正值等の他の補正值 u_{other} を演算した後、ステップ110に進み、F/F補正值 u_{cmp} に他の補正值 u_{other} を足し合わせて操作量 u を求める。

$$u = u_{cmp} + u_{other}$$

【0037】

尚、 u_{cmp} や u_{other} を補正率で求めて、 u_{cmp} や u_{other} をベース値に乘算して操作量 u を求めるようにしても良い。

そして、次のステップ111で、上記操作量 u でモータ17を駆動することで実スロットル開度 y を目標スロットル開度 y_m に一致させるように制御する。

【0038】

以上説明した本実施形態(1)では、電子スロットルシステムにおいて、F/F制御を適応制御によって補正するようにしたので、制御対象(電子スロットルシステム)の特性変動に応じてF/F制御のゲイン K_h を自動調整することができ、制御対象の特性変動による影響を反映させたF/F制御を行うことができ、F/F制御の制御精度を向上させることができる。しかも、目標スロットル開度 y_m (目標値) から制御対象の入力(操作量 u)を演算する制御式が制御対象の伝達関数の逆モデルとなるため、制御対象の出力(実スロットル開度 y)を目

標値（目標スロットル開度 y_m ）に一致させることができ、高応答の F/F 制御を実現することができる。

【0039】

更に、本実施形態（1）では、制御対象である電子スロットルシステムが無駄時間 d を持っていることを考慮して、目標スロットル開度 y_m （目標値）と実スロットル開度 y （実際の制御量）との誤差 e を求める際に、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標スロットル開度 y_{md} を用い、誤差 $e = y_{md} - y$ とするようにしたので、制御対象が無駄時間 d を持つ場合でも、無駄時間 d の影響を排除した F/F 制御を実行することができ、F/F 制御の制御精度を良好に維持できる。

【0040】

これにより、図 4 に示すように、適応制御による補正が無い従来システムと比較して、本実施形態（1）では、適応制御による補正によって高応答かつ高精度の電子スロットル制御を実現することができる。

【0041】

《実施形態（2）》

次に、本発明を空燃比制御システムに適用した実施形態（2）を図 5 及び図 6 に基づいて説明する。空燃比制御システムを制御対象とする場合は、目標値が目標燃料量で、制御対象の出力（制御量）が排気管 22 に設置した空燃比センサ 24 で検出した空燃比（A/F、空気過剰率 λ 、燃料過剰率 ϕ ）となることを考慮して、目標燃料過剰率（以下「目標 ϕ 」と表記する）と空燃比センサ 24 で検出された実燃料過剰率（以下「実 ϕ 」と表記する）との誤差 e に目標燃料量差分値 Δy_m （目標燃料量の微分値）を乗算した値 z に基づいて適応的にゲイン K_h を決定し、このゲイン K_h に目標燃料量差分値 Δy_m を乗算した値を F/F 補正值 u_{cmp} として求める。この場合、制御対象が無駄時間 d を持っていることを考慮して、目標 ϕ と実 ϕ との誤差 e を求める際に、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標 ϕ （ $= \phi_d = \phi(i-d)$ ）を用い、誤差 $e = \text{目標 } \phi_d - \text{実 } \phi$ とする。以下、図 6 の空燃比制御プログラムの具体的処理内容を説明する。

【0042】

本プログラムが起動されると、まずステップ201で、吸入空気量及び空燃比を計測し、次のステップ202で、吸入空気量に基づいて目標燃料量 $y_m(i)$ を演算する。この後、ステップ203に進み、目標燃料量の今回値 $y_m(i)$ と前回値 $y_m(i-1)$ との差分値 Δy_m (目標値の微分値) を演算する。

$$\Delta y_m = y_m(i) - y_m(i-1)$$

【0043】

そして、次のステップ204で、計測した空燃比から実 ϕ ($=1/\lambda$) を演算する。この後、ステップ205に進み、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標 $\phi(i-d)$ を読み込んで、 $\phi_d = \phi(i-d)$ とする無駄時間処置を実施した後、ステップ206に進み、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標 ϕ_d と実 ϕ との誤差 e ($=$ 目標 ϕ_d - 実 ϕ) を算出する。

【0044】

この後、ステップ207に進み、誤差 e に目標燃料量差分値 Δy_m を乗算した値 z ($=e \times \Delta y_m$) を算出した後、ステップ208に進み、次式によりゲイン K_h (時定数 K の推定値) を算出する。

$$K_h = K_h(i-1) + \gamma_k \times \Delta t \times z$$

ここで、 $K_h(i-1)$ は前回のゲイン、 γ_k は定数 (>0)、 Δt は制御周期である。

【0045】

そして、次のステップ209で、ゲイン K_h に目標燃料量差分値 Δy_m を乗算して F/F 補正值 u_{cmp} を求める。

$$u_{cmp} = K_h \times \Delta y_m$$

【0046】

この後、ステップ210に進み、基本噴射量、 F/B 補正值等の他の補正值 u_{other} を演算した後、ステップ211に進み、 F/F 補正值 u_{cmp} に他の補正值 u_{other} を足し合わせて操作量 u を求める。

$$u = u_{cmp} + u_{other}$$

【0047】

尚、 u_{cmp} や u_{other} を補正率で求めて、 u_{cmp} や u_{other} をべ

ース値に乗算して操作量 u を求めるようにしても良い。

そして、次のステップ 212 で、上記操作量 u で燃料噴射弁 20 を駆動することで、実 ϕ を目標 ϕ に一致させるように制御する。

【0048】

以上説明した本実施形態 (2) では、空燃比制御システムにおいて、 F/F 制御を適応制御によって補正するようにしたので、高応答かつ高精度の空燃比制御を実現することができる。

【0049】

しかも、本実施形態 (2) では、目標値が目標燃料量で、制御対象の出力が空燃比となることを考慮して、空燃比の情報として、空気過剰率 λ ではなく、その逆数 ($1/\lambda$) である燃料過剰率 ϕ を用いるようにしたので、目標値 (目標燃料量、目標 ϕ) と制御対象の出力 (実 ϕ) との増減方向が一致して、制御対象の挙動が分かりやすくなる利点がある。

【0050】

《実施形態 (3)》

次に、本発明を電子スロットルシステムに適用した実施形態 (3) を図 7 及び図 8 に基づいて説明する。

【0051】

前記実施形態 (1)、(2) では、制御対象を一次遅れ系で近似したが、本実施形態 (3) では、制御対象をより正確にモデル化するために、図 7 に示すように近似している。この場合、図 7 の点線内の制御 (制御対象の伝達関数の逆モデル) が実現可能であれば、制御対象の出力 y (実スロットル開度) を目標値 y_m (目標スロットル開度) に一致させることができる。

【0052】

しかし、制御対象の定数 K_1 , K_2 が未知であったり、変動したりするため、図 7 の制御式のままでは実現できない。

そこで、本実施形態 (3) では、制御対象の定数 K_1 , K_2 を検出しつつ、制御する手法を採用する。

【0053】

まず、制御式の伝達関数 $K_1 \quad K_2 \quad s / (K_1 \quad s + 1)$ を展開しやすいように変形する。

$$\begin{aligned} K_1 \quad K_2 \quad s / (K_1 \quad s + 1) &= K_2 \quad s / (s + 1 / K_1) \\ &= \beta s / (s + \alpha) \end{aligned}$$

ここで、 $\alpha = 1 / K_1$ 、 $\beta = K_2$ である。

【0054】

更に、制御対象の伝達関数 $(K_1 \quad s + 1) / \{K_1 \quad (1 + K_2) \quad s + 1\}$ も展開しやすいように変形する。

$$\begin{aligned} (K_1 \quad s + 1) / \{K_1 \quad (1 + K_2) \quad s + 1\} \\ &= (s + 1 / K_1) / \{(1 + K_2) \quad s + 1 / K_1\} \\ &= (s + \alpha) / \{(1 + \beta) \quad s + \alpha\} \end{aligned}$$

【0055】

従って、制御対象の入力 u (操作量) と出力 y (制御量) との関係は、次式で表される。

$$y = (s + \alpha) / \{(1 + \beta) \quad s + \alpha\} \cdot u \quad \cdots [1]$$

【0056】

また、目標値 y_m と操作量 u との関係は、次式で表される。

$$u = \{1 + \beta h \quad s / (s + \alpha h)\} \quad y_m \quad \cdots [2]$$

ここで、 αh は α の推定値、 βh は β の推定値である。

【0057】

上記 [2] 式を [1] 式に代入して整理すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} y &= (s + \alpha) / \{(1 + \beta) \quad s + \alpha\} \cdot \{1 + \beta h \quad s / (s + \alpha h)\} \quad y_m \\ &= (s + \alpha) / \{(1 + \beta) \quad s + \alpha\} \\ &\quad \times \{(1 + \beta h) \quad s + \alpha h\} / (s + \alpha h) \times y_m \end{aligned}$$

ここで、目標値 y_m と実際の出力 y の誤差 e を $e = y_m - y$ と定義して上式を代入すると、この誤差 e は次のように表される。

【0058】

【数 1】

$$e = \frac{(\beta - \beta h)s^2 + (\alpha h\beta - \alpha\beta h)s}{(1+\beta)s^2 + \{(1+\beta)\alpha h + \alpha\}s + \alpha\alpha h} ym$$

$$= \frac{s}{(1+\beta)s^2 + \{(1+\beta)\alpha h + \alpha\}s + \alpha\alpha h} \begin{bmatrix} \beta - \beta h & (\alpha h\beta - \alpha\beta h) \end{bmatrix} \left[\frac{dym}{dt} \right]_{ym}$$

強正実にするために、 $\varepsilon = e + c_1 \int e dt$ を導入する。

$$\varepsilon = \frac{s + c_1}{(1+\beta)s^2 + \{(1+\beta)\alpha h + \alpha\}s + \alpha\alpha h} \begin{bmatrix} \beta - \beta h & (\alpha h\beta - \alpha\beta h) \end{bmatrix} \left[\frac{dym}{dt} \right]_{ym}$$

$$\frac{d\phi_1}{dt} = -\gamma_\beta \frac{dym}{dt} \varepsilon \quad (\phi_1 = \beta - \beta h, \quad \phi_2 = \alpha h\beta - \alpha\beta h)$$

$$\frac{d\beta h}{dt} = \gamma_\beta \frac{dym}{dt} \varepsilon \quad \text{-----} [3]$$

$\beta h \rightarrow \beta$ となれば、 ε は次式で表される。

$$\varepsilon = \frac{\beta(s + c_1)}{(1+\beta)s^2 + \{(1+\beta)\alpha h + \alpha\}s + \alpha\alpha h} \begin{bmatrix} 0 & \alpha h - \alpha \end{bmatrix} \left[\frac{dym}{dt} \right]_{ym}$$

$$\frac{d\phi_2'}{dt} = -\gamma_\alpha ym \varepsilon \quad (\phi_2' = \alpha h - \alpha)$$

$$\frac{d\alpha h}{dt} = -\gamma_\alpha ym \varepsilon \quad \text{-----} [4]$$

【0059】

F/F補正值 u_{cmp} を数式で表現すると、次のようになる。

$$u_{cmp} = K2h \cdot ym - 1 / K1h \cdot \int u_{cmp} \cdot dt$$

$$= \beta h \cdot ym - \alpha h \cdot \int u_{cmp} \cdot dt$$

ここで、 βh 、 αh は、前記 [3] 式、[4] 式の関係から求められる。

【0060】

この場合、誤差 ε が 0 でないと、[4] 式の $d\alpha h / dt$ が 0 にならず、 αh が更新され続けるという問題が生じる。つまり、定常偏差を持つと、常に αh が更新され続けるという問題が生じる。

【0061】

そこで、本実施形態(3)では、F/F制御が働く場面のみ αh を更新させるために、[4] 式の右辺に前回の F/F補正值 u_{cmp} を乗算した次式を用いて αh を算出するようにしている。

$$\begin{aligned} d\alpha h / dt &= -\gamma_{\alpha} \cdot y_m \cdot \varepsilon \cdot u_{cmp} \\ &= -\gamma_{\alpha} \cdot z_1 \\ z_1 &= y_m \cdot \varepsilon \cdot u_{cmp} \end{aligned}$$

【0062】

ECU27は、図8の電子スロットル制御プログラムを周期的に実行することで、特許請求の範囲でいうゲイン演算手段及びフィードフォワード補正值演算手段として機能し、目標スロットル開度 y_m (目標値) と実スロットル開度 y (実際の制御量) との誤差 e と該誤差 e の積分値との和 ($e + c \cdot \int e dt$) に目標スロットル開度の微分値 Δy_m を乗算して得られた値 z_2 に基づいて適応的にゲイン K_{2h} を決定し、目標スロットル開度 y_m と目標スロットル開度の一次遅れの値 u_1 との差分値 ($y_m - u_1$) に前記ゲイン K_{2h} を乗算した値を F/F補正值 u_{cmp} として求める。

【0063】

この場合、目標スロットル開度 y_m の一次遅れの値 u_1 を演算する際に、その一次遅れ時定数 K_{1h} (K_1 の推定値) を、目標スロットル開度 y_m と実スロットル開度 y との誤差 e と該誤差の積分値 e_e との和 ε ($= e + e_e$) に目標スロットル開度 y_m と前回 F/F補正值 u_{cmp} を乗算して得られた値 z_1 に基づいて適応的に決定する。

【0064】

更に、制御対象が無駄時間 d を持っていることを考慮して、目標スロットル開度 y_m と実スロットル開度 y との誤差 e を求める際に、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標スロットル開度 y_{md} を用い、誤差 $e = y_{md} - y$ とする。以

下、図8の電子スロットル制御プログラムの具体的処理内容を説明する。

【0065】

本プログラムが起動されると、まずステップ301で、スロットル開度センサ16により実スロットル開度 y (実際の制御量) を計測し、次のステップ302で、アクセル開度等に基づいて目標値である目標スロットル開度 $y_m(i)$ を演算する。この後、ステップ303に進み、目標スロットル開度の今回値 $y_m(i)$ と前回値 $y_m(i-1)$ との差分値 Δy_m (目標値の微分値) を演算する。

$$\Delta y_m = y_m(i) - y_m(i-1)$$

【0066】

そして、次のステップ304で、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標スロットル開度 $y_m(i-d)$ を読み込んで、 $y_{md} = y_m(i-d)$ とする無駄時間処置を実施した後、ステップ305に進み、目標スロットル開度 y_{md} と実スロットル開度 y との誤差 $e (= y_{md} - y)$ を算出する。

【0067】

この後、ステップ306に進み、誤差 e の積分値 e_e を次式により演算する。

$$e_e = e_e + c \times \Delta t \times e$$

(c : 定数、 Δt : 制御周期)

【0068】

そして、次のステップ307で、誤差 e とその積分値 e_e との合計値 $\epsilon (= e + e_e)$ を算出した後、ステップ308に進み、 ϵ に目標スロットル開度 y_m と前回の F/F 補正值 u_{cmp} を乗算して z_1 を求める。

$$z_1 = \epsilon \times y_m \times u_{cmp}$$

【0069】

この後、ステップ309に進み、 α_h を次式により算出する。

$$\alpha_h = \alpha_h - \gamma_\alpha \times \Delta t \times z_1$$

(γ_α : 定数)

【0070】

この後、ステップ310に進み、目標スロットル開度 y_m の一次遅れの値 u_1 を演算する際に用いる一次遅れ時定数 K_{lh} を α_h を用いて次式により算出する

$$K1h = 1 / \alpha h$$

【0071】

そして、次のステップ311で、 ϵ に目標スロットル開度差分値 Δy_m を乗算した値 z_2 ($= \epsilon \times \Delta y_m$)を算出した後、ステップ312に進み、次式によりゲイン $K2h$ (定数 K_2 の推定値)を算出する。

$$K2h = K2h(i-1) + \gamma_2 \times z_2$$

ここで、 $K2h(i-1)$ は前回のゲイン、 γ_2 は定数 (> 0) である。

【0072】

この後、ステップ313に進み、一次遅れ時定数 $K1h$ を用いて、目標スロットル開度 y_m の一次遅れの値 u_1 を次式により算出する。

$$u_1 = K1h / (K1h + \Delta t) \cdot u_1 + \Delta t / (K1h + \Delta t) \cdot y_m$$

【0073】

そして、次のステップ314で、目標スロットル開度 y_m と目標スロットル開度の一次遅れの値 u_1 との差分値 ($y_m - u_1$)に前記ゲイン $K2h$ を乗算した値を F/F 補正值 u_{cmp} として求める。

$$u_{cmp} = (y_m - u_1) \times K2h$$

【0074】

この後、ステップ315に進み、 F/B 補正值等の他の補正值 u_{other} を演算した後、ステップ316に進み、 F/F 補正值 u_{cmp} に他の補正值 u_{other} を足し合わせて操作量 u を求める。

$$u = u_{cmp} + u_{other}$$

【0075】

尚、 u_{cmp} や u_{other} を補正率で求めて、 u_{cmp} や u_{other} をベース値に乘算して操作量 u を求めるようにしても良い。

そして、次のステップ317で、上記操作量 u でモータ17を駆動することで実スロットル開度 y を目標スロットル開度 y_m に一致させるように制御する。

【0076】

以上説明した本実施形態(3)の電子スロットル制御では、前記実施形態(1

）よりも制御対象のモデルの精度を向上させているため、前記実施形態（１）よりも更に制御精度を向上させることができる。

【0077】

《実施形態（４）》

次に、本発明を空燃比制御システムに適用した実施形態（４）を図９及び図１０に基づいて説明する。前記実施形態（２）と同様に、空燃比制御システムを制御対象とする場合は、制御対象の出力 y （空燃比）を排気管 22 に設置した空燃比センサ 24 で検出することを考慮して、目標 ϕ （目標燃料過剰率）と空燃比センサ 24 で検出された実 ϕ との誤差 e に該誤差 e の積分値との和（ $e + c \cdot \int e \, dt$ ）に目標燃料量の微分値 Δy_m を乗算して得られた値 z_2 に基づいて適応的にゲイン K_{2h} を決定し、目標燃料量 y_m と目標燃料量の一次遅れの値 u_1 との差分値（ $y_m - u_1$ ）に前記ゲイン K_{2h} を乗算した値を F/F 補正值 u_{cm} として求める。この場合、制御対象が無駄時間 d を持っていることを考慮して、目標 ϕ と実 ϕ との誤差 e を求める際に、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標 ϕ （ $= \phi_d = \phi(i-d)$ ）を用い、誤差 $e = \text{目標 } \phi_d - \text{実 } \phi$ とする。また、制御対象をより正確にモデル化するために、図７に示すように、制御対象を一般に知られている燃料挙動モデルで近似している。以下、図９の空燃比制御プログラムの具体的処理内容を説明する。

【0078】

本プログラムが起動されると、まずステップ 401 で、吸入空気量及び空燃比を計測し、次のステップ 402 で、吸入空気量に基づいて目標燃料量 $y_m(i)$ を演算する。この後、ステップ 403 に進み、目標燃料量の今回値 $y_m(i)$ と前回値 $y_m(i-1)$ との差分値 Δy_m （目標値の微分値）を演算する。

$$\Delta y_m = y_m(i) - y_m(i-1)$$

【0079】

そして、次のステップ 404 で、計測した空燃比から実 ϕ （ $= 1/\lambda$ ）を演算する。この後、ステップ 405 に進み、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標 $\phi(i-d)$ を読み込んで、 $\phi_d = \phi(i-d)$ とする無駄時間処置を実施した後、ステップ 406 に進み、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標 ϕ_d と実 ϕ との

誤差 e (= 目標 ϕ_d - 実 ϕ) を算出する。

【0080】

この後、ステップ407に進み、誤差 e の積分値 e_e を次式により演算する。

$$e_e = e_e + c \times \Delta t \times e$$

(c : 定数、 Δt : 制御周期)

【0081】

そして、次のステップ408で、誤差 e とその積分値 e_e との合計値 ϵ (= $e + e_e$) を算出した後、ステップ409に進み、 ϵ に目標燃料量 y_m と前回の F/F 補正值 u_{cmp} を乗算して z_1 を求める。

$$z_1 = \epsilon \times y_m \times u_{cmp}$$

【0082】

この後、ステップ410に進み、 α_h を次式により算出する。

$$\alpha_h = \alpha_h - \gamma_\alpha \times \Delta t \times z_1$$

(γ_α : 定数)

【0083】

この後、ステップ411に進み、目標燃料量 y_m の一次遅れの値 u_1 を演算する際に用いる一次遅れ時定数 K_{1h} を α_h を用いて次式により算出する。

$$K_{1h} = 1 / \alpha_h$$

【0084】

そして、次のステップ412で、 ϵ に目標燃料量差分値 Δy_m を乗算した値 z_2 (= $\epsilon \times \Delta y_m$) を算出した後、ステップ413に進み、次式によりゲイン K_{2h} (定数 K_2 の推定値) を算出する。

$$K_{2h} = K_{2h}(i-1) + \gamma_2 \times z_2$$

ここで、 $K_{2h}(i-1)$ は前回のゲイン、 γ_2 は定数 (> 0) である。

【0085】

この後、ステップ414に進み、一次遅れ時定数 K_{1h} を用いて、目標燃料量 y_m の一次遅れの値 u_1 を次式により算出する。

$$u_1 = K_{1h} / (K_{1h} + \Delta t) \cdot u_1 + \Delta t / (K_{1h} + \Delta t) \cdot y_m$$

m

【0086】

そして、次のステップ415で、目標燃料量 y_m と目標燃料量の一次遅れの値 u_1 との差分値 $(y_m - u_1)$ に前記ゲイン K_{2h} を乗算した値を F/F 補正值 u_{cmp} として求める。

$$u_{cmp} = (y_m - u_1) \times K_{2h}$$

【0087】

この後、ステップ416に進み、基本噴射量、 F/B 補正值等の他の補正值 u_{other} を演算した後、ステップ417に進み、 F/F 補正值 u_{cmp} に他の補正值 u_{other} を足し合わせて操作量 u を求める。

$$u = u_{cmp} + u_{other}$$

【0088】

尚、 u_{cmp} や u_{other} を補正率で求めて、 u_{cmp} や u_{other} をベース値に乘算して操作量 u を求めるようにしても良い。

そして、次のステップ418で、上記操作量 u で燃料噴射弁20を駆動することで、実 ϕ を目標 ϕ に一致させるように制御する。

【0089】

以上説明した本実施形態(4)の空燃比制御では、前記実施形態(2)よりも制御対象のモデルの精度を向上させているため、前記実施形態(2)よりも更に制御精度を向上させることができる。

【0090】

図10は、本実施形態(4)の空燃比制御の挙動を示している。本実施形態(4)では、 F/F 制御を適応制御によって補正するようにしているので、過渡運転時の実 ϕ の変動を適応制御による F/F 補正值 u_{cmp} によって効果的に低減することができ、過渡運転時のドライバビリティや排気エミッションを向上させることができる。

【0091】

《実施形態(5)》

前記実施形態(3)で説明した[数1]の[3]式と[4]式においては、 ϵ (目標値と実際の制御量との誤差 e と該誤差の積分値 e_e との和) を用いたが、

本実施形態（５）では、 ε の代わりに、目標値と実際の制御量との誤差 e を用いて、[数１]の[３]式と[４]式をそれぞれ下記の[３'] 式と[４'] 式に変更する。

$$d\beta h / dt = -\gamma\beta \cdot dym / dt \cdot e \quad \cdots \cdots [3']$$

$$d\alpha h / dt = -\gamma\alpha \cdot ym \cdot e \quad \cdots \cdots [4']$$

【0092】

本実施形態（５）においても、F/F制御が働く場面のみ αh を更新させるために、上記[４'] 式の右辺に前回のF/F補正值 $ucmp$ を乗算した次式を用いて αh を算出する。

$$d\alpha h / dt = -\gamma\alpha \cdot ym \cdot e \cdot ucmp$$

$$= -\gamma\alpha \cdot z1$$

$$z1 = ym \cdot e \cdot ucmp$$

【0093】

要するに、本実施形態（５）は、前記実施形態（３）において、「 ε 」の代わりに「誤差 e 」を用いた実施形態である。

このようにしても、前記実施形態（３）と同様の効果を得ることができる。

【0094】

尚、本発明の適用範囲は、電子スロットルシステムや空燃比制御システムに限定されず、例えば、アイドルスピード制御、可変バルブ制御、クルーズコントロール等、車両に搭載された種々の制御システムに本発明を適用して実施できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】

本発明の実施形態（１）におけるエンジン制御システム全体の概略構成図

【図２】

実施形態（１）で使用する制御式の導出方法を説明するブロック図

【図３】

実施形態（１）の電子スロットル制御プログラムの処理の流れを示すフローチャート

【図４】

実施形態（１）の電子スロットル制御の一例を説明するタイムチャート

【図５】

実施形態（２）の空燃比制御システムを説明するブロック図

【図６】

実施形態（２）の空燃比制御プログラムの処理の流れを示すフローチャート

【図７】

実施形態（３）で使用する制御式の導出方法を説明するブロック図

【図８】

実施形態（３）の電子スロットル制御プログラムの処理の流れを示すフローチャート

【図９】

実施形態（４）の空燃比制御プログラムの処理の流れを示すフローチャート

【図１０】

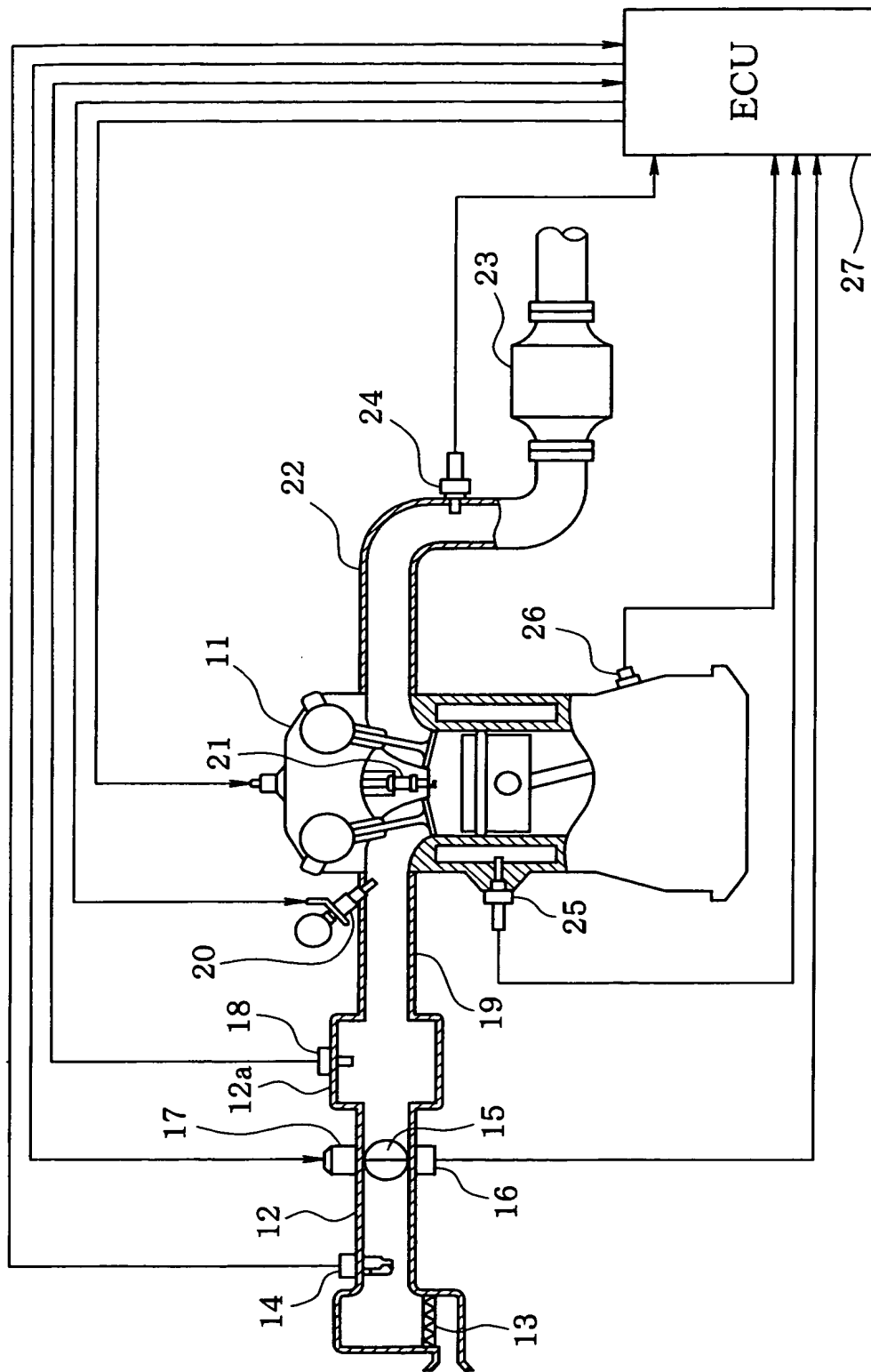
実施形態（４）の空燃比制御の一例を説明するタイムチャート

【符号の説明】

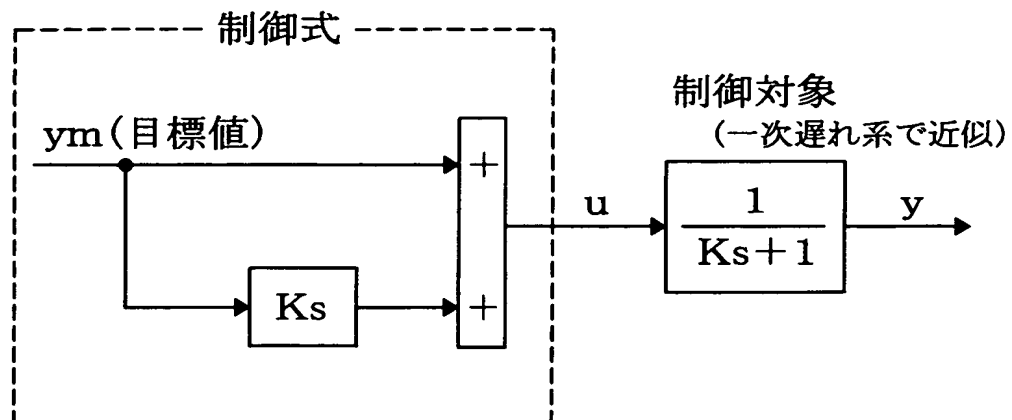
１１…エンジン（内燃機関）、１２…吸気管、１４…エアフローメータ、１５…スロットルバルブ、２０…燃料噴射弁、２１…点火プラグ、２２…排気管、２４…空燃比センサ、２７…ＥＣＵ（ゲイン演算手段、フィードフォワード補正值演算手段）。

【書類名】 図面

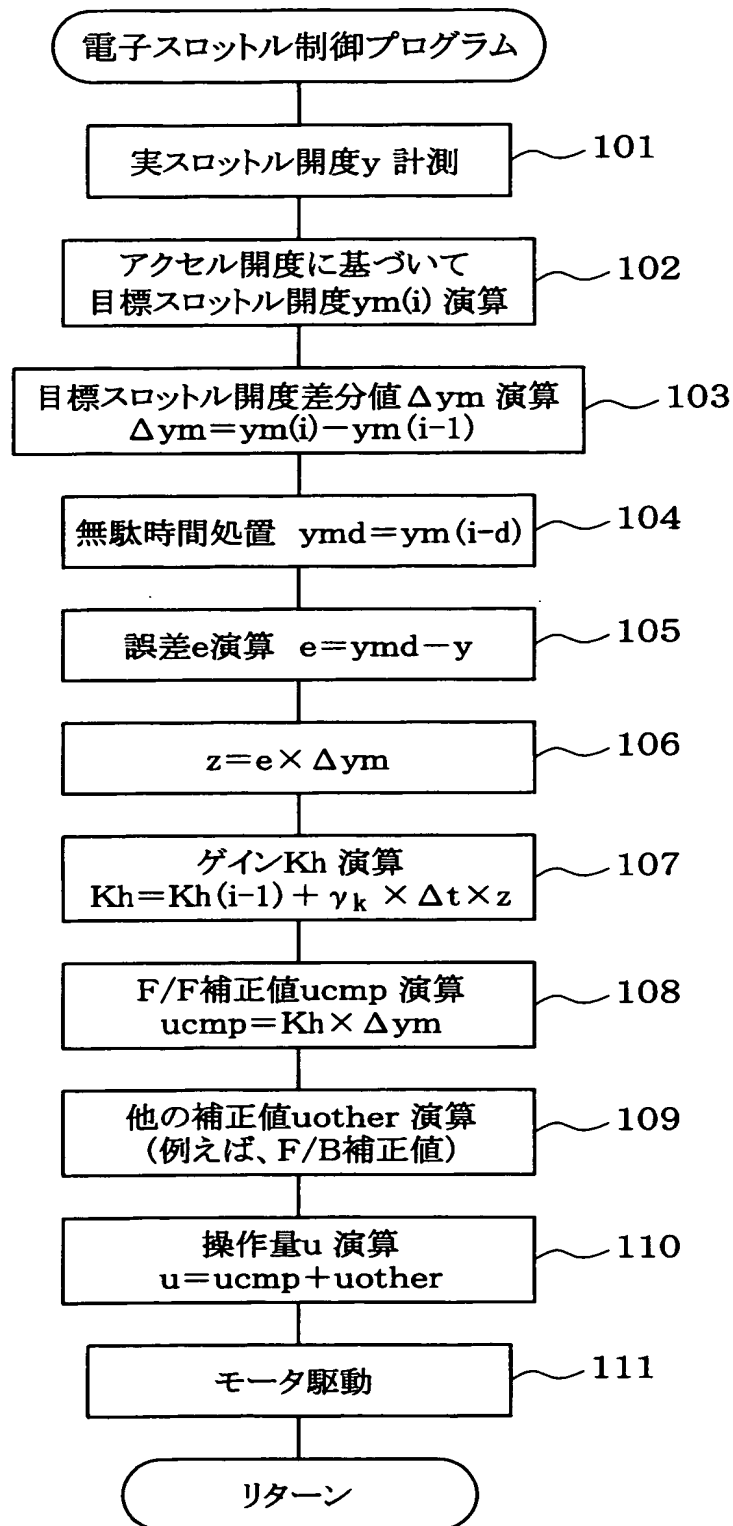
【図 1】



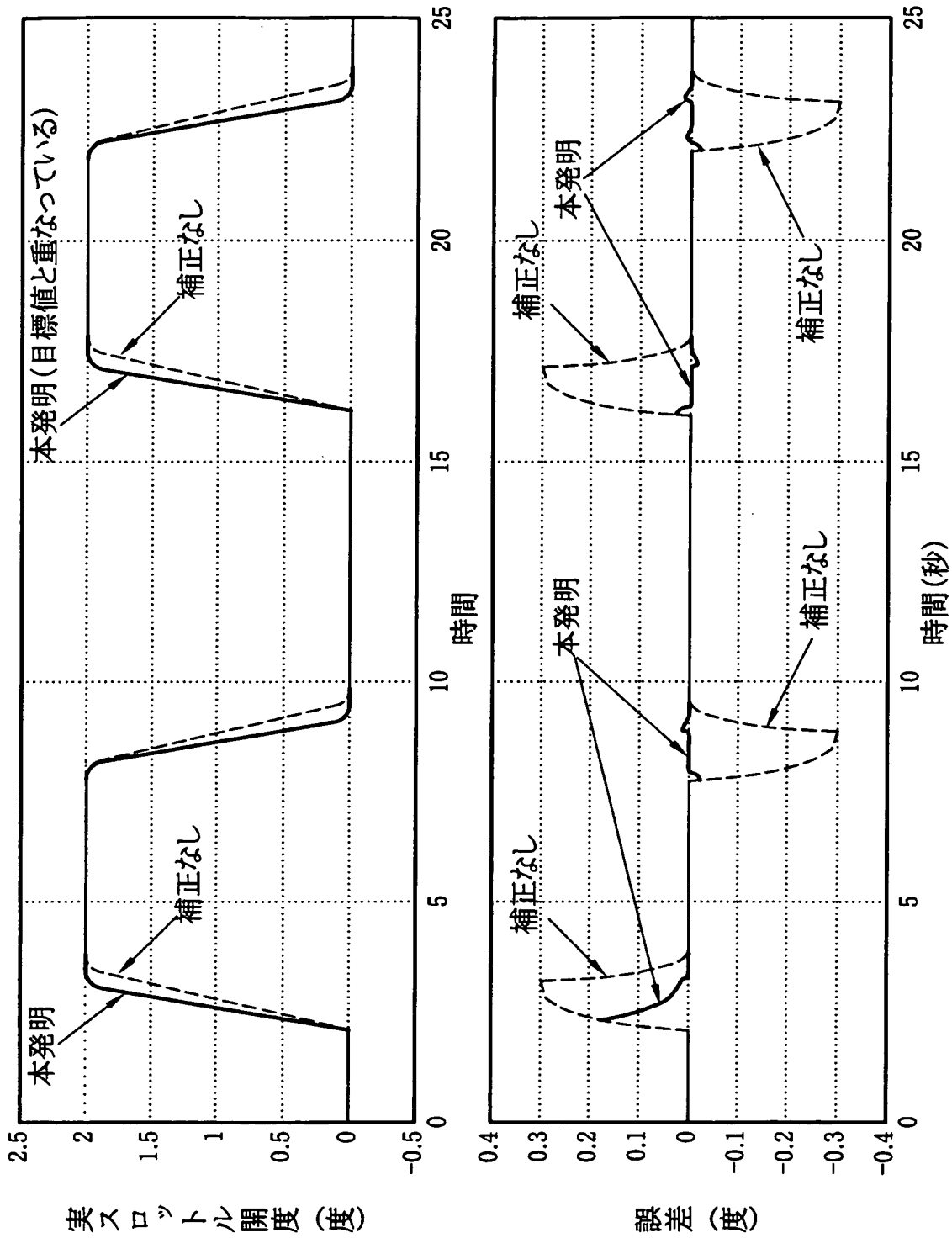
【図 2】



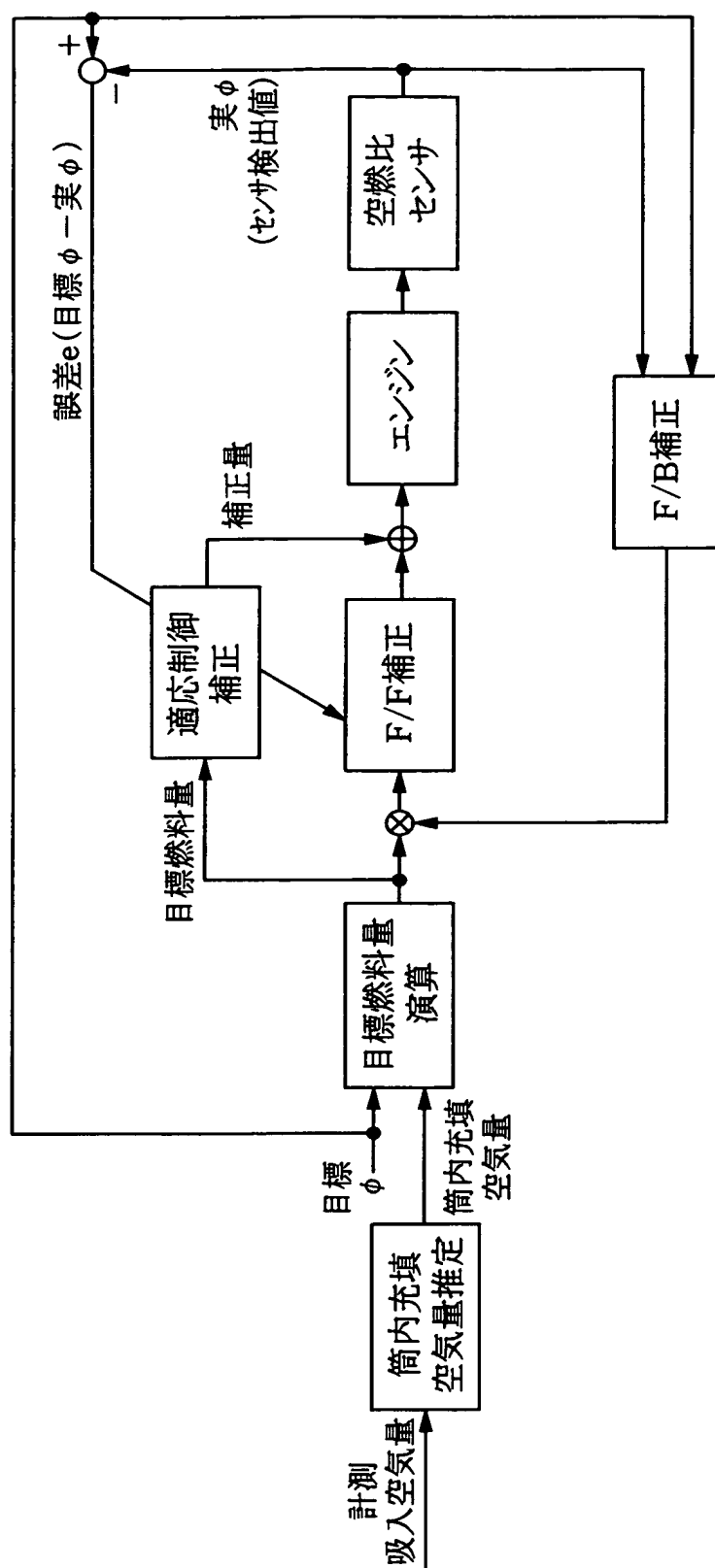
【図 3】



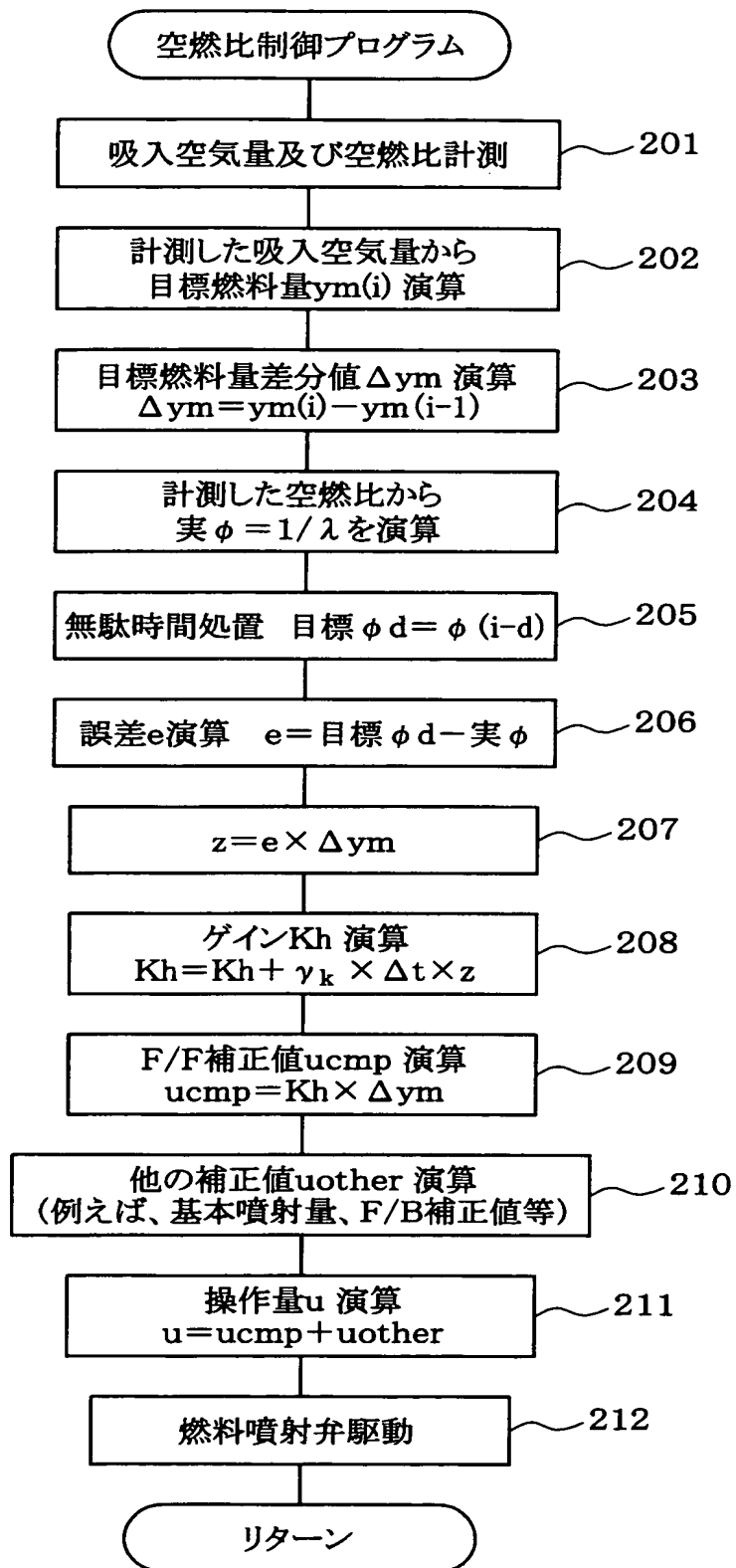
【図 4】



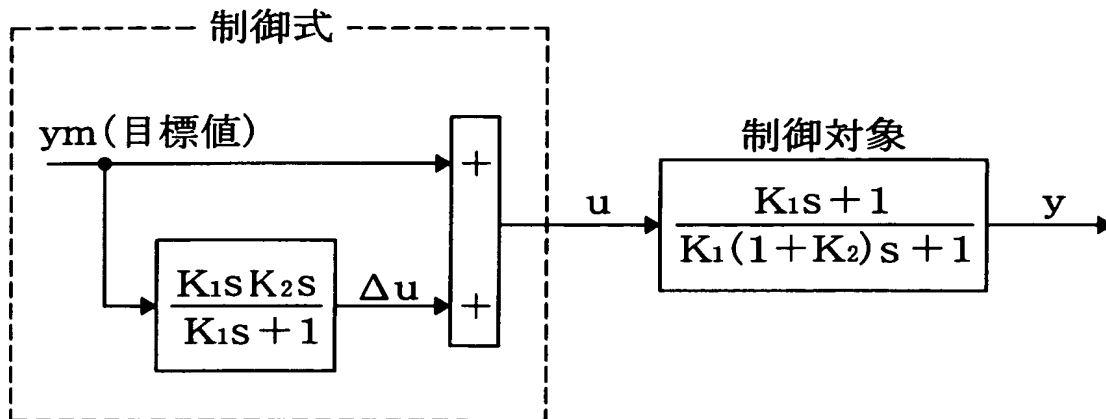
【図 5】



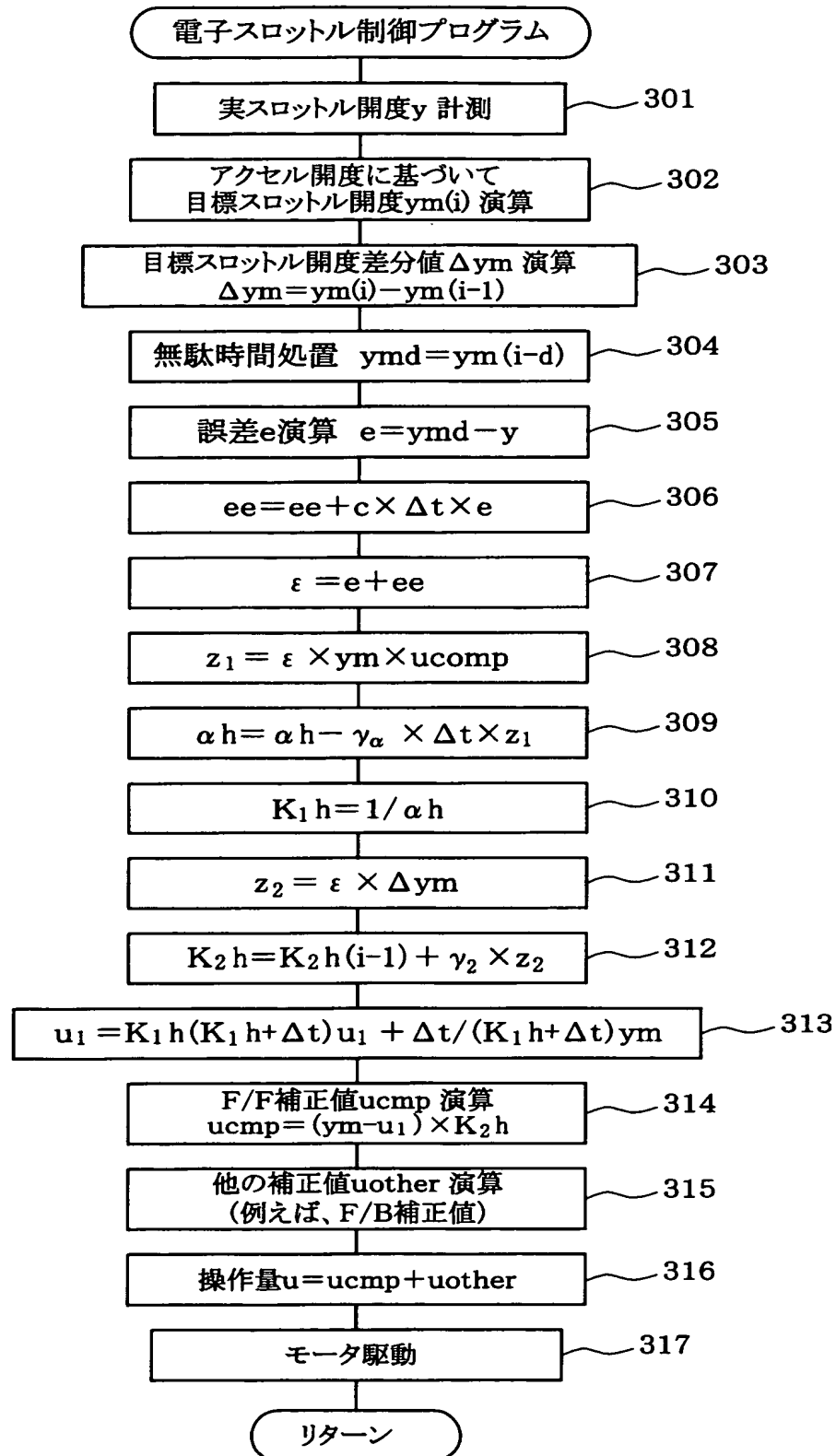
【図 6】



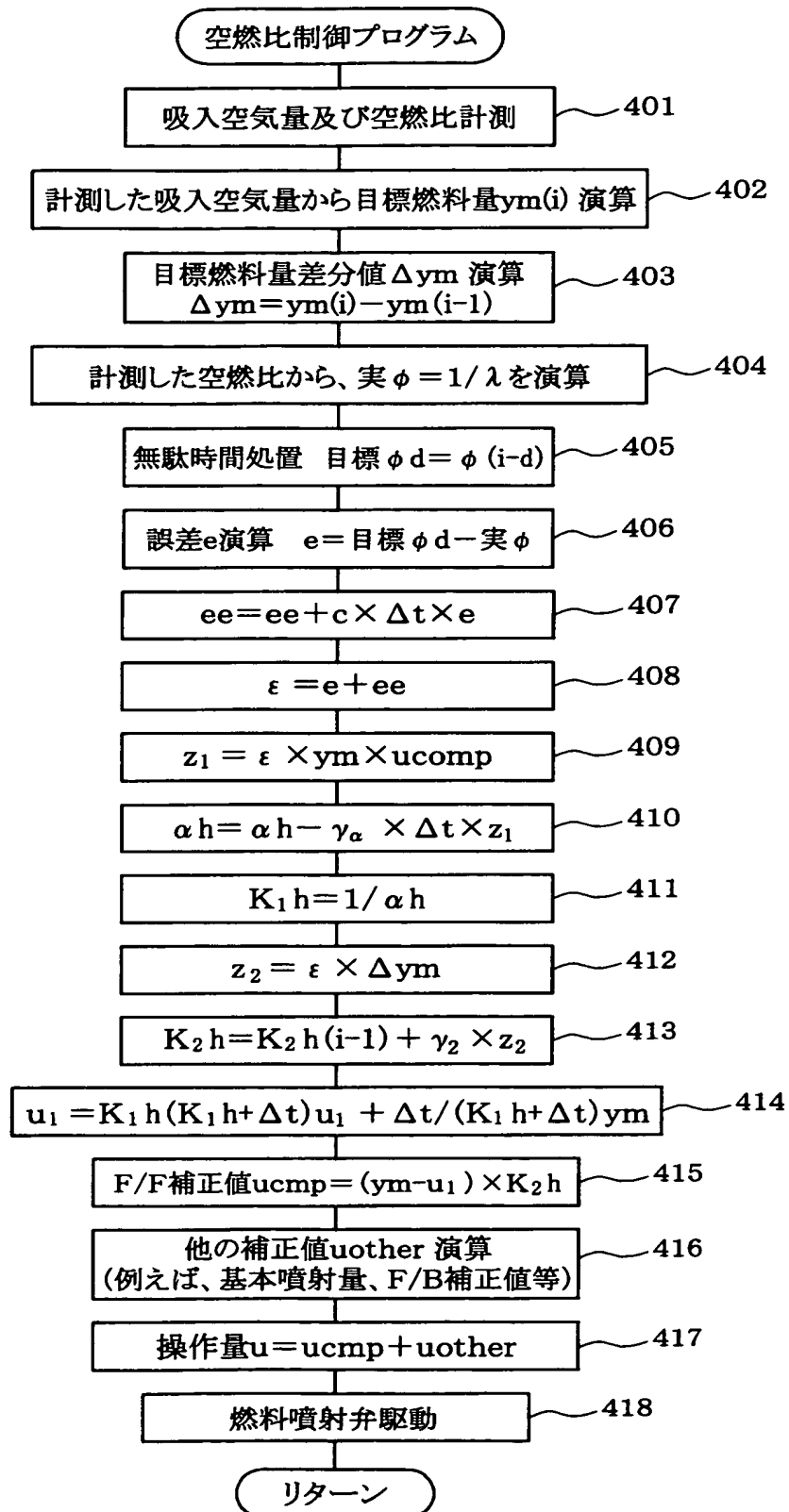
【図 7】



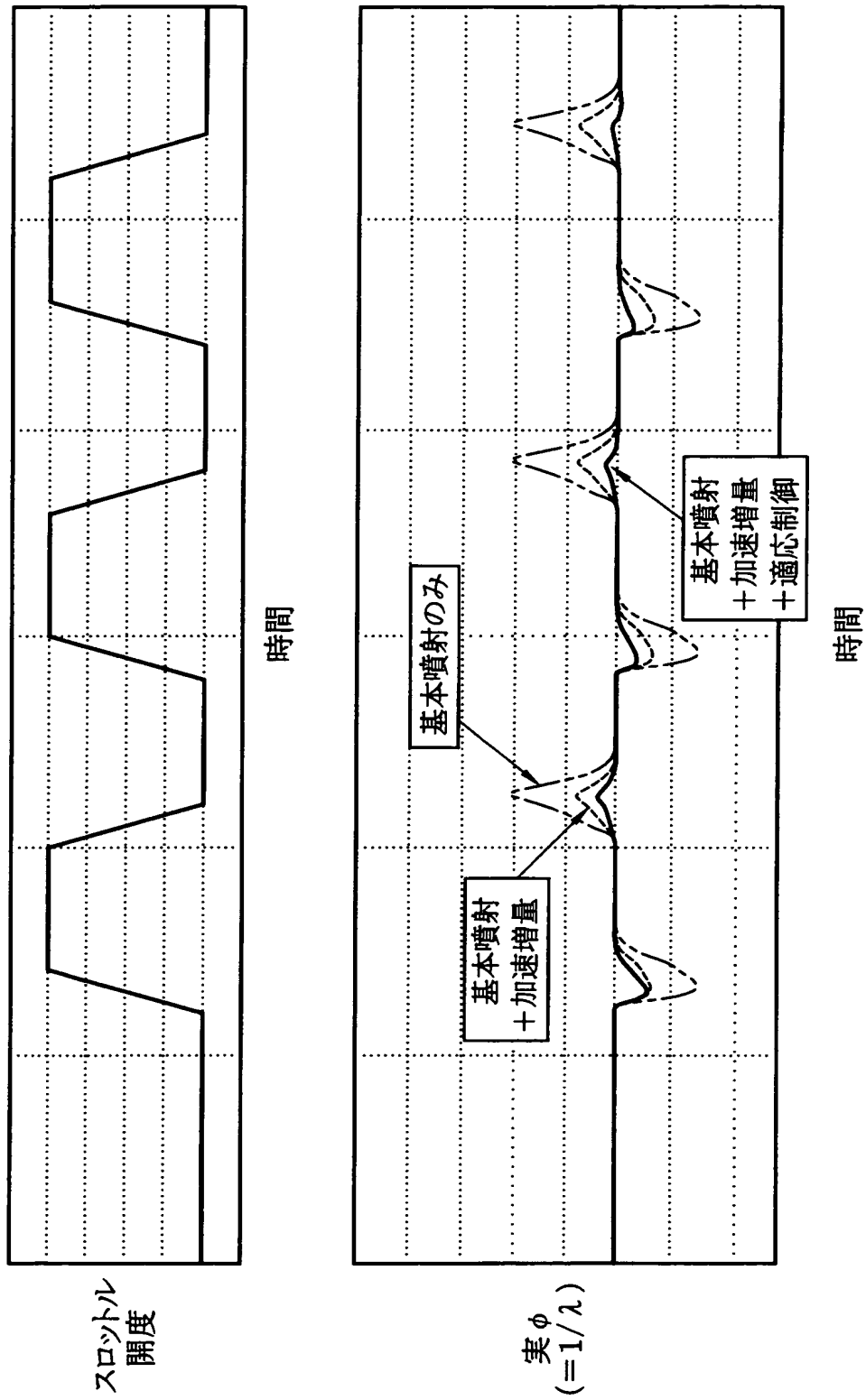
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 空燃比制御システム等において、高応答かつ高精度のフィードフォワード制御（F/F制御）を実行する。

【解決手段】 空燃比制御システムにおいて、目標燃料過剰率（目標 ϕ ）と空燃比センサで検出された実燃料過剰率（実 ϕ ）との誤差 e に目標燃料量差分値 Δy_m （目標燃料量の微分値）を乗算した値 z に基づいて適応的にゲイン K_h を決定し、このゲイン K_h に目標燃料量差分値 Δy_m を乗算した値をF/F補正值 u_{cmp} として求める。この際、制御対象が無駄時間 d を持っていることを考慮して、目標 ϕ と実 ϕ との誤差 e を求める際に、無駄時間 d 分だけ過去に溯った時点の目標 ϕ_d を用い、誤差 $e = \text{目標}\phi_d - \text{実}\phi$ とする。

【選択図】 図5

特願 2 0 0 3 - 0 7 9 3 6 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 2 6 0]

1. 変更年月日	1 9 9 6 年 1 0 月 8 日
[変更理由]	名称変更
住 所	愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地
氏 名	株式会社デンソー